UEBER DEN URSPRUNG DER ELEKTRISIERUNG BEIM SPRUDELN DER LUFT DURCH...

Karl Wolf

Ueber den Ursprung der Elektrisierung beim Sprudeln der Luft durch Flüssigkeiten.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Königl. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,

eingereicht von

Karl Wolff

aus Gelsenkirchen in Westfalen.

Opponenten:

Herr cand. phil. [illegible]

Herr cand. phil. [illegible]

Herr cand. med. [illegible]

[illegible] bei Kiel,

Druck von [illegible]

[illegible]

Ueber den Ursprung der Elektrisierung beim Sprudeln der Luft durch Flüssigkeiten.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Königl. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,

vorgelegt von

Karl Wolf

aus Gelsenkirchen in Westfalen.

Opponenten:

Herr Cand. phil. *P. Steffen.*
Herr cand. phil. *W. Hillmer,*
Herr cand. med. *R. Giesen.*

Voorde bei **Kiel,**
Druck von Otto Krohn.
1903.

No. 24.
Rektoratsjahr 1903/4.
Zum Druck genehmigt:
Dr. Harzer,
z. Zt. Dekan.

Meiner Mutter

und

dem Andenken meines Vaters

gewidmet.

1. Die Kenntniss der Tatsache, dass Wasser im Aufprall Elektrizität an die umgebende Luft abgiebt, ist noch nicht alt. *Ph. Lenard*[1]) hat zuerst grundlegende Versuche angestellt und die notwendige Erklärung über diese Erscheinung gegeben. Es war von vornherein anzunehmen, dass dieselbe Wirkung eintreten würde, wenn man Luft durch Wasser sprudeln liess. *Ph. Lenard*[2]) hat diese naheliegenden Versuche ebenfalls begonnen, *Lord Kelvin*[3]) sie jedoch weiter ausgeführt und die Tatsache, die Lenard für Wasserfallelektrizität nachgewiesen hatte, dass die geringsten Beimengungen auffallende Aenderungen in der elektrischen Wirkung zeigten, auch für Sprudelelektrizität gefunden. *W. Koesters*[4]) untersuchte hauptsächlich die Elektrizität, die elektrolytisch frisch erzeugte Gase während des Stromdurchganges lieferten. *John S. Towusend*[5]) hatte hierüber die Hypothese aufgestellt, dass diese Gase aufsteigen, ohne ihre Elektrizität an die Elektroden abzugeben. Diese Annahme war aber nicht haltbar, da die Gase eine andere Elektrizität zeigten, als sie nach elektrolytischen Gesetzen haben mussten. Koesters gab die wohl richtige Erklärung, dass diese Abweichung zu deuten sei als Analogie zur Wasserfallelektrizität. Durch meine Versuche wollte ich erfahren , worin die Ursache der durch Sprudeln erzeugten Elektrisierung zu suchen sei. Um Ergebnisse zu bekommen, mit denen ihrer Einfachheit und Uebersichtlichkeit wegen leicht und klar zu rechnen sei, habe ich mich im allgemeinen bei den Folgerungen über die Entstehung der Elektrizität auf Wasser und Luft beschränkt. Die massgebenden Grössen brachte ich dadurch in die Rechnung, dass die Versuchsbedingungen vielfältig geändert

---

1) Pogg. Ann. N. F. 46, S. 585 ff.

2) l. c. S. 610.

3) Proc. Roy. Soc. Vol. 57. p. 335, 1895.

4) Pogg. Ann. N. F. 69, S. 12.

5) Phil. Mag. 45. p. 125. 1898; Proc. Cambr. Phil. Soc. 9. p. 244—258. 1898.

wurden. Ausserdem sind noch einige andre interessante Versuche angestellt worden.

2. **Aufbau der Anlage.** Den Luftstrom zu meinen Versuchen bezog ich von einem Gasometer, dessen Kessel etwa 20 l, dessen Becken etwa 8 l fasste. Das Filter F (Fig. α), eine Wattepfropfen enthaltende Glasröhre, hatte den Zweck, die Luft nötigenfalls zu reinigen und zu entelektrisieren; es war mit Staniol überklebt und entsandte von beiden Seiten an die Innenwand je einen Staniolstreifen, der mit Watte in Berührung stand; das Ganze hatte Erdleitung. Das angefügte Röhrchen R_2 war innen und aussen mit Schellack bestrichen, die Verbindung mit Röhrchen R_3, sowie zwischen diesem und Rohr R_4 wurde durch je ein Stückchen Rohrgummi hergestellt. Beide, Knierohr R_3 und Streckrohr R_4 waren mit Staniol bekleidet, welches Erdleitung hatte. Zwischen Streckrohr R_4 und dem eigentlichen Sprudelrohr R_5 war ein Stück ausgeschmolzenen Paraffins eingefügt, um das Sprudelrohr gegen Erde zu isolieren, welche Aufgabe es vollständig erfüllte. Das Sprudelrohr war mittels zweier Knieungen nach oben gebogen, um ungestörte Bildung der Luftblasen zu fördern und Prallen gegen das Rohr zu hindern. Bei den anfänglichen Versuchen hatte ich ein gerades Sprudelrohr benutzt, das schräg ins Wasser ragte, keinen Paraffinblock als Isoliermittel trug, sondern nur am oberen Rande einen Schellacküberzug hatte. Ich beseitigte es bald wegen schlechter Isolierung und unregelmässiger Blasenbildung. Das Sprudelgefäss W war bis zum oberen Rande mit Staniol überzogen, ein blanker Kupferdraht war fest herumgeschlungen, der nebst einem an einem Glasbolzen ins Wasser hängenden Platindrahte zum Elektrometer führte. Bei den Hauptversuchen wurde später ein Becherglas von etwa 0,4 l Inhalt genommen. Das Gefäss war mittels dreier Siegellackstützen S gegen Erde isoliert und, um äussere elektrische Einflüsse abzuschirmen, mit einem Blechmantel M umgeben, der mit Erde leitend verbunden war. In den oberen Rand des Mantels waren die vier Arme eines Holzkreuzes mittels Rillen eingeklemmt. An der Kreuzungsstelle trug es einen festgesiegelten Kork, durch dessen Durchbohrung das Sprudelrohr auf- und abbewegt werden konnte, während man den Abstand der Sprudelöffnung von der Wasser-

oberfläche, die Sprudelhöhe, an einem mit einer mm-Skala versehenen Brettchen ablesen konnte. Falls mit Lüftung gearbeitet wurde, erweiterte sich das Bild noch um einen bedeutend grösseren Gasometer mit seinem zum Sprudelgefäss führenden Rohr- und Filterwerk. Auch hier wurde die zum Lüften verwendete Luft durch ein Wattefilter geschickt, sodass auch die Blaseluft rein und entelektrisiert gebraucht wurde. Zu der Herstellung der Vorrichtung, die jedesmalige Sprudelhöhe ablesen zu können, war ich bewogen worden durch die Beobachtung, dass einem verschieden langen Wege der Luftblasen im Wasser ein verschiedener Grad der Elektrisierung entsprach. Die Oeffnungsfläche des Sprudelrohres bei diesen und den nächstfolgenden Versuchen war 3,14 mm^2 d. i. 0,2 cm Durchmesser. Im Beginn meiner Arbeit nahm ich ein Sprudelgefäss von etwa 25 cm Höhe, später ein kleineres. Rohe Andeutungen über die Sprudelhöhe, bei der das Höchstmass der Elektrisierung eintrat, hatte ich schon früher ohne genaue Anordnung erhalten, wobei ich mich auf Schätzung durch Augenmass verliess. Auch in diesem Falle hatte ich die Stelle bei etwa 4 cm gefunden. Mit der verbesserten Anlage war ich imstande, die Sprudelhöhe bis auf 1 mm abzulesen, eine Genauigkeit, die vollkommen ausreichte. Das Aendern der Sprudelhöhe wurde sowohl beim allmählichen Verringern (von unten herauf), beim allmählichen Vermehren (von oben herab), als auch im Wandern von der Marke des Höchstwertes nach beiden Seiten gewahrt. Das Sprudelgefäss war etwa 18 cm hoch mit destilliertem Wasser gefüllt, welches ich, dasselbe Wasser oft wochenlang benutzend, bei Nichtgebrauch sorgfältig mit Staniol überdeckte, um Verunreinigungen und dadurch Störungen in den Ergebnissen zu vermeiden.

3. Bei den ersten Versuchen waren am Gasometer alle Hähne voll aufgedreht, sodass die Strömungsschnelle der Luft bei abnehmender Sprudelhöhe stärker, die Zeit des Sprudelns kleiner wurde, da über der Sprudelöffnung eine von Versuch zu Versuch sich mindernde Wassersäule sich befand. Die Sprudelzeit nahm ab von 3′30″ bei 14 cm Sprudelhöhe bis 3′10″ bei 1 cm Sprudelhöhe (Luftmasse 8 l). Der anfängliche Versuch zeigte, wie Kurve a darlegt, das Höchstmass der Elektrisierung in der Gegend von 4 bis 5 cm Sprudelhöhe.

Durch nachfolgende Versuche wurde es bei etwa 4 cm festgelegt, wie Kurve b und spätere beweisen, wohlgemerkt unter den obwaltenden Verhältnissen. Ueberfliegende Spritzer machten sich bei 4 cm Sprudelhöhe noch wenig bemerkbar, welche Erscheinung aber zunahm, als der Wasserweg der Luftblasen weiter verringert wurde. Bei 3 cm und weiter abwärts änderte sich auch das Verhalten derselben an der Wasseroberfläche. Die Blasen scharen sich über der Rohrmündung auf der Oberfläche, platzen also nicht mehr sofort, sondern sammeln sich in einem dichtgedrängten Haufen von etwa 20, deren Zahl mit noch kleinerer Sprudelhöhe sich verringert; das Sprudelgeräusch wird bei 1 cm knatternd, und bei 0,5 cm Sprudelhöhe kann man von Blasenbildung an der Oberfläche nicht mehr reden; über der Oeffnung bildet sich eine kleine, stumpfe, hochgeworfene Wassersäule.

4. **Erste Vorrichtung, Spritzer zu vermeiden.** Der den vorliegenden Erscheinungen gemäss einfachste Weg, die Abnahme der Elektrisierung unter 4 cm Sprudelhöhe zu erklären, war, an die überfliegenden Spritzer zu denken. Weil sie, das elektrisierte Wasser verlassend, selbst Elektrizität enthalten mussten, so bedeutete ihre Entfernung eine Verringerung der angezeigten Elektrizität. Durch folgende Anordnung suchte ich den Spritzverlust zu hintertreiben.

5. Ueber den Sprudelbecher wurde ein feinmaschiges Drahtnetz (Maschenweite 1 mm, Drahtstärke 0,2 mm) von Messing gebreitet, das den Zweck haben sollte, die abgesprengten Spritzer aufzufangen; es war mit dem Sprudelgefäss mittels Drahtes und dadurch mit dem Elektrometer verbunden. Bei den folgenden Versuchen bekam ich so wenig Elektrisierung infolge mangelhafter Lüftung und aus einem später erwähnten Grunde (9), dass ich auf diese Versuche wenig Wert legen konnte. Dazu zeigte die Elektrometernadel die Besonderheit, fortwährend zu schwanken und nur langsam nach der positiven Seite auszuschlagen.

6. **Vermeidung der Spritzer durch niedrigen Wasserstand.** Erkennend, dass ich mittels der Anordnung mit Drahtnetz nicht zu einwandfreien Ergebnissen kommen würde, suchte ich das Ueberspritzen von Tröpfchen dadurch zu hindern, dass ich das Wasser bis auf 10 cm Tiefe ausgoss, also die Wasseroberfläche

vom oberen Gefässrande entfernte. Das Höchstmass der Elektrisierung lag hier abermals in der Gegend von 4 cm Sprudelhöhe; und als ich auf 7 cm Wasserstand hinunterging, lag es ebenfalls in dieser Höhe. Spritzwasser ging in geringem Maße aber auch jetzt noch über den Gefässrand, obwohl der Abstand zwischen ihm und der Wasseroberfläche auf etwa 20 cm gewachsen war. Doch sieht man gleich, dass Wasserverlust bei dem Abfall der Elektrizitätsentwicklung kaum infrage kommt, da eine beträchtliche Verringerung der Spritzerzahl keinen Einfluss übt. Auffällig war bei diesen Versuchen das geringe Potential, das doch, da ja die Kapazität des Gefässes abgenommen hatte, bedeutend hätte steigen müssen. Der Grund liegt sicher darin, dass die über dem Wasser befindliche negativ geladene Luft in ständiger Berührung mit der Gefässwand ist, wodurch der Ausgleich der Elektrizitäten erleichtert wird. Ueberhaupt spielt ungehinderter Luftaustritt, der durch gute Lüftung unterstützt wird, bei all diesen Versuchen eine wesentliche Rolle.

7. **Anwendung eines Sprudelrohres mit engerer Oeffnung.** Ich liess die Sprudelöffnung von 0,2 cm auf 0,1 cm Durchmesser in der Bunsenflamme zusammenlaufen, um die in der Zeiteinheit durchgetriebene Luftmasse und die Heftigkeit der Wallung zu vermeiden. Tatsächlich ging bei den folgenden Versuchen das Höchstmass von 4 cm Sprudelhöhe wie früher auf 2 cm zurück. An der geringeren Anzahl der überfliegenden Spritzer konnte dieser Sprung doch nicht liegen, wie sich später deutlich ergab. Um ihre zweifelhafte Wirkung jedoch vollends zu verhindern, wollte ich Spritzverlust vollständig unmöglich machen.

8. **Deckvorrichtung.** Das Sprudelgefäss wurde mit einer Messingplatte bedeckt, die eine grosse und zwei kleine Oeffnungen hatte. Das grosse Loch befand sich in der Mitte, auf ihm war eine 4,6 cm hohe und 3,0 cm weite Messinghülse festgelötet, die man nach Belieben frei lassen oder mit Drahtnetz durchqueren konnte. Nahe am Rande der Messingscheibe war die Durchlassstelle für das Sprudelrohr und gegenüber diejenige für das Lüftungsrohr. Auf ihr befand sich ein durchbohrter Paraffinblock, in den von oben her das Lüftungsrohr stiess. Der zum Lüften des gedeckten Gefässes benutzte Luftstrom wurde

von einem grösseren Gasometer bezogen. Die Blaseluft sollte zum Forttreiben der elektrisierten Luft verwendet worden. Der Messingdeckel war mittels blanken Kupferdrahtes mit dem Sprudelgefässe und mittels Platindrahtes, der ins Wasser reichte, mit dem Sprudelwasser verbunden. Die folgenden Versuche zeigen das Höchstmass, ob nun die Hülse mittels Drahtnetzes durchquert wird oder nicht, scharf ausgeprägt bei 4 cm Sprudelhöhe. (Kurven F und G). Also konnten die abgesprengten Spritzer, da sie vollkommen durch Messingdeckel und Netz aufgefangen wurden, für die Abnahme der Wasserelektrisierung unter 4 cm Sprudelhöhe nicht infrage kommen. Auch bei dieser Anordnung trat deutlich zutage, dass Lüftung und ungehindeter Luftabzug grossen Einfluss üben, da im allgemeinen die Elektrizitätsentwicklung ohne Drahtnetz in der Hülse erheblich grösser war als mit demselben. Auf den ersten Blick fällt bei Kurve F der scharfe Knick beim Höchstmass auf, während Kurve G an dieser Stelle mehr eine flache Rundung zeigt. Die Verschiedenheit wird so zu erklären sein: Die Spritzer sind hier ganz ausser acht zu lassen, da sie, als wirksam angenommen, bei ihrer Einrechnung in das Ergebnis leichter die Kurve F, wo die Hülse frei war, wo mithin Spritzwasser versprengt worden wäre, hätten verflachen können als Kurve G. Ohne Drahtnetz hat die elektrisierte Luft freieren Ausweg, sodass sich die Elektrizität der Luft nicht so leicht mit der des Wassers wieder verbinden kann. Die Erscheiuung erhält ein verschärftes Gepräge, wenn die Fortschleuderung der Luftmassen am stärksten ist: bei 4 cm. (Dass dies geschieht, soll später erläutert werden [22]). Verringert sich die Sprudelhöhe, so müsste, würde man sagen, die Fortschleuderung sich noch steigern; aber die an die Wasseroberfläche steigende Luft wird jetzt in Blasenballungen festgehalten, die erst allmählich platzen.

9. Kurve G ist mit Drahtnetz in der Messinghülse erlangt. Die Fortschleuderung der elektrisierten Luft kann noch so stark sein bei 4 cm Sprudelhöhe, das Drahtnetz fängt die Elektrizität grossenteils auf, und da es in Verbindung mit dem Sprudelwasser steht, so wird eine Vereinigung mit der Elektrizität des Sprudel-

gefässes zumteil herbeigeführt. Diese Vorrichtung muss weniger bringen.

10. **Versuch mit erhöhter Temperatur des Wassers.** Es sollte sich zeigen, ob die Sprudelhöhe, die den Höchstwert der Elektrisierung lieferte, vielleicht von der Temperatur des Wassers abhängig sei. Das Sprudelgefäss mit dem erwärmten Wasser wurde in den Blechmantel hineingesetzt; die Temperatur fiel während der Versuchsdauer von 27° auf 21°, was aber inbezug auf das Ergebnis wenig bedeutet, da das Höchstmass zu klar ausgesprochen bei 4 cm Sprudelhöhe liegt. Würde die fallende Temperatur sich ins Gewicht legen, so dürfte z. B. beim Beginn der Kurve (Kurve C, Richtung des Pfeils) der Anstieg nicht so scharf ausgedrückt sein. Im übrigen fällt die Temperatur etwa um 1° von einem Versuch zum andern. Liegen die Temperaturen weiter auseinander, so würde sich das bald geltend machen, wie die beiden folgenden Versuche zeigen.

11. **Zwei Versuche mit verschiedenen Temperaturen des Wassers.** Die Sprudelhöhe war 5 cm. Bei dem ersten Versuche hatte das Wasser 12°, das Elektrometer zeigte am Schluß 2,69 Volt; beim zweiten hatte es 19°, und das Elektrometer stieg auf 6,05 Volt in derselben Sprudelzeit, sodaß das zweite mal 2,25 mal mehr erzielt wurde.

12. **Zwei Versuche mit langer und kurzer Sprudeldauer.** Die Bedingungen waren beide male dieselben, die Zeit ausgenommen. Hier sprudelten 20 l Luft durch Wasser, früher bloß 8 l; das Sprudelrohr hat wie sonst eine Öffnungsfläche von 3,14 mm^2, die Sprudelhöhe ist 6 cm, die Wassertemperatur 16,5°. Der erste Versuch dauerte 30 Minuten und brachte 3,95 Volt, der zweite dauerte 10,5 Minuten und zeigte 10,2 Volt. In beide Ergebnisse ist der Elektrometerverlust einbezogen. Dieselbe Luftmasse lieferte also bei dreifach verstärkter Sprudelung einen 2,5 fachen Grad der Elektrisierung.

13. Nun könnte man einwenden, die Steigerung der Elektrisierung mit abnehmender Sprudelhöhe liegt eben daran, daß die Luft mit größerer Heftigkeit durchs Wasser getrieben wird. Daß sie etwas ausmacht, haben die beiden letzten Versuche ja ergeben; aber beim Verändern der Sprudelhöhe von cm zu cm

und sogar im Abstande von 10 cm ist die Sprudelstärke, wie die Zeit bei gleichem Wasserdruck im Gasometer angiebt, so wenig verschieden, daß die Gültigkeit der Werte nicht betroffen wird. Wäre die Sprudelheftigkeit in den verschiedenen Höhen wirklich ins Gewicht fallend, warum denn bloß bis zur Grenze von 4 cm bei den angegebenen Bedingungen? Um ein paar beweisende Versuche zu haben, machte ich bei 5 cm und bei 10 cm Sprudelhöhe die Zeit des Sprudelns gleich; es wurden 51,0 bzw. 39,5 Skalenteile am Elektrometer erlangt, Ausschläge, die mit denen in den Kurven verzeichneten, bei denen die Sprudelheftigkeit mit kleinerer Sprudelhöhe ein wenig abnimmt, gut übereinstimmen.

14. Es war zur Genüge bewiesen worden, daß über den Becherrand fliegende Spritzer an der Abnahme der Elektrisierung, wenn man unter 4 cm Sprudelhöhe herabging, nicht beteiligt seien; es lag nahe, an eine Erscheinung zu denken, die fast zu gleicher Zeit eintrat: die Blasenanhäufungen an der Wasseroberfläche. Ich suchte sie mittels einer geeigneten Vorrichtung am längeren Verweilen zu hindern, sie beim Entstehen gleich zum Platzen zu bringen. Sobald nämlich bei den angegebenen Bedingungen die Sprudelhöhe unter 4 cm sinkt, ballen sich die aufsteigenden Blasen über dem Rohr auf der Wasseroberfläche, wobei die am Rande der Ballungen zuerst platzen und der Nachschub immer von der Mitte aus erfolgt. Ich führte in das offene Sprudelgefäß die Lüftungszuleitung vom großen Gasometer derart ein, daß das winklig gebogene Blaserohr in die Mitte der Blasenballung zielte, jedoch von der Wasserfläche 3 cm entfernt war. Die Blaseluft war durch ein Wattefilter gegangen und das Blaserohr mittels eines Paraffinblocks gegen das übrige Röhrenwerk isoliert. Etwa 5 cm über der Mitte der Wasserfläche war ein Uhrglas, die Konkave Seite nach unten, angebracht; es wurde von drei umgeknippten Glasarmen gehalten, die in einen Glasstab mündeten, welcher in einem Kreuzgestell verschiebbar war. Das Uhrglas sollte die Spritzer auffangen, ich hatte ihre Bedeutungslosigkeit noch nicht ganz erkannt. Bei den folgenden Versuchen bekam ich selbst bei der gleichen Sprudelhöhe verschiedene Ergebnisse, sodaß ich diesen Teil der Arbeit abbrach. Dies Abweichen in den Ergebnissen liegt sicher großenteils daran, daß das Lüftungs-

rohr nicht immer die Mitte der Blasenballung trifft; denn bald platzen an dieser Seite bald an jener einige Blasen, wodurch sich jedesmal der Mittelpunkt verschiebt.

15. **Bestreben, einzelne Luftblasen zu erzeugen.** Bei allen voraufgegangenen Versuchen folgten die ausgestoßenen Luftblasen so schnell, daß man mit den Augen, selbst wenn man sie schnell schloß und öffnete, um Augenblicksbilder zu bekommen, die einzelne Luftblase im Aufsteigen garnicht erfassen konnte; man gewahrte nur immer ganze Blasenzüge, die im Lichte wie glänzende Perlenschnüre aussahen. Dadurch wurde die Erfassung der Erscheinung und jede Folgerung aus den Ergebnissen erschwert; und ich suchte, um beides leichter zu gestalten, einzelne große Luftblasen zu erzeugen. Dicht über der Sprudelöffnung unter Wasser wurde das früher verwendete Uhrglas (14) angebracht. Dieser Blasensammler, der die vielen kleinen Blasen zu großen vereinigte, war verschiebbar in senkrechter Richtung und etwas gegen die wagerechte geneigt, damit die Luftblasen nur immer an einer Seite aufstiegen. Leider bewährte sich diese Anordnung doch nicht, da die einzelne Luftblase so groß wurde, daß sie, wie sich später bei Funkenbeobachtung noch deutlicher ergab, während des Aufsteigens in viele kleine zersplitterte, wodurch aus den erlangten Elektrisierungen des Wassers keine klaren Folgerungen zu ziehen waren. Nachdem das verworfen war, wurden jetzt weitere Rohre genommen, die nur soviel geknickt waren, daß die aufsteigenden Luftblasen sie nicht berührten. (Fig. β). Die zweimal rechtwinklig geknickte Form des früher gebrauchten Rohres durfte man ihnen nicht geben, da die im Doppelknie sich sammelnde Wassermasse keine ruhige Blasenbildung zuließ.

16. Nach Durchproben verschiedener Rohrweiten der erwähnten Form ergab sich bei günstiger Luftschnelle und guter Entwicklung der einzelnen Luftblasen ein Rohr von 113 mm^2 Öffnungsfläche als das beste. Die Zeit des Luftdurchtreibens setzte ich auf etwa 5,5 Minnten fest bei einer Luftmasse von 3,43 l. Größer durfte ich die Luftschnelle nicht nehmen, weil dann die Sprudelung zu heftig und die Luftblase zu groß geworden wäre; das erste hätte Spritzer, das zweite Zersplitterung im Gefolge gehabt. Die durchgesprudelte Luftmasse konnte leicht

an einer Skala abgelesen werden, die im Wasserbecken des Gasometers angebracht worden war. Der Wasserfluss konnte geregelt werden mittels eines Wasserhahnes zwischen Becken und Kessel; er war mit einem langen Zeiger versehen, der über eine bogenförmige Skala lief, die mit dem Becken fest verbunden war.

17. Wie sich bei Funkenbeobachtung zeigte, blieb diese Luftblase unter den angegebenen Bedingungen selbst bei einer Sprudelhöhe von 10 cm noch ungeteilt auf ihrem Wasserwege, wenn auch nicht zu verhüten war, daß sie bei etwa 2 cm über der Sprudelöffnung die sonderbarsten Formen annahm. Bei dem Weg dieser Blasen war mir eins merkwürdig erschienen, was man mit bloßem Auge, nur einen Blasenstrang sehend, noch besser beobachten kann als mit Funkenlicht. Ungefähr 4—5 cm über der Sprudelöffnung macht der Blasenweg einen plötzlichen Knick, um etwa 2 cm höher abermals einen zu machen, nach der entgegengesetzten Seite ausbiegend und so fort. Bei 4—5 cm Wasserweg wird die Blase derart abgeplattet sein, daß sie ihren senkrechten Aufwärtsweg nicht fortsetzen kann; sie weicht seitlich aus, bis auch an ihrer Vorderseite die Abstumpfung eintritt und sie wieder nach der anderen Seite auszubiegen gezwungen ist. (Fig. β).

18. Die Luftmasse, die eine Blase mit sich führte, wurde auf folgende Weise ausgerechnet. Die Blasen wurden sowohl am Anfange als auch am Ende eines Versuchs derart gezählt, daß ich das Ohr auf den Tisch legte, wobei ich das einzelne Ausstoßen der Blasen aus der Öffnung durch einen klopfenden Laut wahrnehmen konnte; im selben Takte tippte ich mit einem Bleistift auf Papier, sodaß sich Punkt an Punkt reihte. Die Zeit wurde an der Sekundenuhr, die Luftmasse am Wasserstandszeiger im Becken abgelesen, die Punkte gaben mir die Blasenzahl an. Bei 5 cm Sprudelhöhe bekam ich genau 6 Blasen in der sec. und jede trug eine Luftmasse von 1,72 cm^3 mit sich; die Oberfläche betrug, Atmosphärendruck und Kugelgestalt angenommen, 6,88 cm^2. Wenn nun bei der benutzten Öffnungsfläche von 113 mm^2 jede sec. 6 Blasen aufsteigen, so erweitert sich die Wasserfläche an der Sprudelöffnung in $^1/_6$ sec. auf etwa das 6fache; in Wirklichkeit wird die Erweiterung nicht so groß sein wegen des Wasserdrucks.

19. Diese plötzliche Oberflächenerweiterung suchte ich auf anderem Wege zu erreichen und wollte sehen, ob sich in diesem Fall Elektrisierung bewirken ließe. In mein Sprudelgefäß stülpte ich einen Glastrichter, der mittels eines Gerüstes in der Schwebe gehalten wurde; an das Ausflußrohr setzte sich ein durchhöhlter Paraffinblock, der ein Glasröhrchen hielt, das oben mittels einer Feder luftdicht verschlossen wurde. Letztere konnte im geeigneten Augenblick gehoben werden (Fig. γ). In den Trichter ragte von unten her bis über die Wasserfläche das langknieige Sprudelrohr. Begann die Lufttreibung, so sank, da die Luft nicht entweichen konnte, im Trichter das Wasser. Gelangte es dicht unten an den Trichterrand, so wurde mittels eines Bindfadens der Federschluß geöffnet, und die Luft konnte entweichen; beobachtet wurde durch den Spalt eines Pappschirmes. Nach dem Entweichen der Luft schloß die Feder wieder die Öffnung, das Wasser sank, um beim Anziehen der Feder wieder zu steigen. Es wurde jedesmal darauf geachtet, daß das gegen den Trichterhals anstürmende Wasser nicht spritzte, wodurch die bekannte Lenardwirkung eingetreten wäre. Bei einer bedeutend größeren Luftmasse, als ich sie bei meinen anderen Versuchen gebraucht hatte, bekam ich einen so geringen Ausschlag, daß ich nicht mit ihm rechnen konnte.

20. Da sich aber in diesem Falle im Vergleich zur Blasenentwicklung die Oberfläche nur langsam erweiterte, schlug ich andere Wege ein. Die Oberfläche sollte gewaltsamer getrennt werden. Ich ließ vorsichtig getrocknete Glasperlen (Glastränen) ins Sprudelwasser fallen. Sie wurden mittels einer besonders hergerichteten, erdgeleiteten Zange aus einem über dem Schutzmantel befindlichen Behälter, ebenfalls geerdet, ergriffen und ins Wasser fallen gelassen. 10 Perlen brachten bis zu 50 Skalenteile. Daß aber die Elektrisierung irgend wo anders herrührte, zeigte sich, wenn ich sie anhauchte oder mit dest. Wasser anfeuchtete: die Wirkung sank sofort auf Null. Wenn ich jedoch trockene Perlen vor dem Hinabwerfen durcheinander rüttelte, stieg der Ausschlag auf das Mehrfache. Damit war die Herkunft der Elektrizität erklärt. Nahm ich z. B. blanke Eisenstückchen, so bekam ich ebenfalls nichts. Darauf richtete ich das schwach

gekniete Rohr mit feiner Oeffnung schief auf die Wasserfläche, sodass bei geeigneter Entfernung fortwährend eine kleine Grube in der Wasserfläche entstand. Ich erzielte keine Wirkung mit noch so grossen Luftmassen. Wurde der Luftstrom aber verstärkt oder das Rohr näher der Oberfläche gebracht, derart, dass Wasserteile abgesprengt oder ein wenig Luft ins Wasser getrieben wurde, war die alte Wirkung sogar in starkem Maße wieder da. Hiermit scheint mir bewiesen, dass Ausweiten von Oberfläche an und für sich keine Elektrisierung bewirkt. [1])

21. Um die Blasenzerstreuung in der Flüssigkeit zu vermeiden und womöglich Zusammenplatzen künstlich zu erzeugen, und um ihren Einfluss auf die Elektrizitätsentwicklung zu beobachten, wurde über das Sprudelrohr (Oeffnungsfläche 3,14 mm) ein Sammelrohr gesetzt. Es bekam eine etwas schräge Stellung, damit unten erleichteter Wasserzufluss stattfinden konnte. Sprudelhöhe 12,7 cm, der obere Rand des Sammelrohrs war 0,5 cm von der Wasserfläche entfernt. Mit Sammelrohr 16,8, ohne es 13,0 Sk-teile. Mittels Funkenlichtes bemerkte man im Sammelrohr oft eine einzige langgezogene Blase; und es ist sicher, dass ein gut Teil Oberfläche verschwinden muss. Das Ergebnis weist auf diese Erklärung richtweg hin, wie die Zahlen zeigen. Doch kann man gegen die Gültigkeit dieses Versuches mancherlei einwenden, da der Wasserzutritt gehindert ist und ein Entlanggleiten der Blase an der Glaswand stattfindet. (Fig. δ).

22. **Vier Vorgänge konnten bei der Elektrizitätserzeugung infrage kommen.** 1) Prallung und Zusammenplatzen in der Flüssigkeit. Eine dahin abzielende Funkenbeobachtung brachte ein negatives Ergebnis; ich liess die Blasen so schnell einander folgen, dass je 2 Blasen dicht über dem Sprudelrohr prallten, immer sah ich sie getrennt die Wasserfläche erreichen. 2) Die Schwingungen der Blase. Sie sind gut zu beobachten bei grossen, einzeln aufsteigenden Blasen (Fig. β) Bild 1—6). Nach 4—5 cm Wasserweg plattet die Luftblase so stark ab, dass sie seitwärts ausweicht und bald am Vorderrande beult, wobei die Wandung kleiner wird. Die Oberflächenverkleinerung geschieht aber wahrscheinlich nicht schnell genug; denn der durch längeren Wasseraufenthalt bewirkte Verlust an Elektrisierung übertrifft den mög-

[1]) Vergleiche hierüber Lenard, Pogg. Ann. N. F. 46, S. 619.

lichenfalls eingebrachten Gewinn. 3). Das Platzen der Blasen. Dies geschah so ungeheuer schnell, dass ich selbst mittels Funkenlichtes nicht die geringste Spur des Vorganges entdecken konnte. Nach einfacher Ueberlegung wird die Sprengung an der Krone einsetzen, wo natürlich die Wasserhaut am dünnsten ist, da am Fusse der Blase die Wandung keilförmig beginnt. Der Vorgang des Platzens hat zwei Teile: a) die Kuppe (freie Oberfläche, Bild I—IX) wird gesprengt, Oberfläche verschwindet sehr rasch; b) die Mulde (gebundene Oberfläche) schnellt empor, abermalige Oberflächenverringerung; und zwar wird dieser Betrag, vom Verhältnis derselben Luftmasse aus berechnet, mit der Kleinheit der Blase wachsen (41). Ob aber dieser letztere Vorgang grössere Elektrisierung liefert, ist fraglich, da bei dem plötzlichen Nachschiessen der Muldenwand wahrscheinlich die freigewordene Elektrizität wieder eingefangen wird. 4 a) Das Abtrennen am Rohr. Dies scheint mir sehr wichtig für dic Elektrizitätsentstehung zu sein, da hier zum ersten male Oberfläche verschwindet. [1]) Nehmen wir zunächst Rohr e (Oeffnungsfläche 113 mm²), bei dem die Erscheinung am klarsten zu übersehen ist. Bild 1—6 giebt das Entstehen der Blase bei ruhiger Bildung. In 5 will sie gerade abreissen. Man bemerkt leicht, dass der Zipfel, den sie am Rohr bildet, im folgenden Augenblick verschwinden muss bei dem Bestreben der Blase, Kugelform anzunehmen. 4 b) Verschwinden von Oberfläche hat auch statt bei heftiger Blasenentwicklung mittels enger Rohre, wo die oberen Spitzen fortfallen. Hier bieten besonders die sehr engen Sprudelrohre ein anschauliches Bild, das um so klarer wird, je heftiger wir sprudeln lassen. Es leuchtet auch zu gleicher Zeit ein, weshalb verstärkte Sprudelheftigkeit höhere Elektrisierung liefert, da die Spitzigkeit der Form mit der Stärke des Luftstromes zunimmt, die verschwindende Oberfläche also wachsen muss. Bild 7—11 giebt die Formen für einen schwächeren, 12—16 die für einen stärkeren Luftstrom; Bild 17 zeigt das Aussehen bei ganz schwacher Sprudelung; die Blasen steigen einzeln auf. Unmittelbar an der Oeffnung haben sie die Gestalt von kaum merklich gezogenen Ku-

[1]) Ph. Lenard, Pogg. Ann. N. F. 46, S. 631.

geln mit einer kleinen Buckelung an der Krone. Kaum abgetrennt, verlieren sie diese Form und nehmen infolge der geringen Wirbelung des Wassers die Gestalt von flachen Hüten und Tellern an, die wechselnd die Düllung oben oder unten haben. Merkmale dieser Blasen: geringe Oberflächenverkleinerung, wegen schwacher Wirbelung des Wassers weitgehende Plattungen und längerer Wasseraufenthalt. Bild 18—23 giebt die Blasengestaltung mittels des weiteren Sprudelrohres d (Oeffnungsfläche 3,14 mm ^{2}). Man sieht, dass die Luftblasen so schnell einander folgen, dass verschieden geformte Einschachtelungen stattfinden, die bei dem angewandten Druck (Luftschnelle 13 m/sec) meist die Höhe von etwa 4 cm hatten, aber nicht darüber hinaus gingen. Der aufsteigende Blasenzug enthält, bewirkt durch den plötzlichen Ausstoss, zusammengepresste Luft; er strebt nach der Abtrennung eine mehr rundliche Form anzunehmen d. h. Oberfläche freizugeben. Dies tut er, indem der untere Teil schnell nachschiesst. Ist nun die Sprudelhöhe 4 cm, so wird die durch das Nachstossen erlangte Energie dazu verwandt, die entstandene Blase zu sprengen und zwar stärker, als es bei grösserem oder kleinerem Wasserweg geschehen könnte. Wird die Sprudelhöhe vermehrt, so ist auch der Widerstand des Wassers grösser, obendrein ist mit der Blase eine Wandlung vorgegangen. Bis 4 cm über der Sprudelöffnung zeigte sie noch Rundung und Zusammenhang, schon bei 5 cm beginnt sie zu zerknittern und das Aussehen von unregelmässigen Glasklumpen anzunehmen, einzelne Bläschen werden durch den Widerstand des Wassers abgetrennt. Je länger der Wasserweg ist, um so mehr schreitet die Teilung der Blase fort, sodass bei einer Sprudelhöhe von 10 cm schon größere und kleinere Blasen die Wasseroberfläche erreichen. Wird der Wasserweg kleiner als 4 cm d. h. kleiner als der Blasenstrang selbst, so ist die Wasseroberfläche schon zerrissen, ehe unten an der Oeffnung die Trennung erfolgt ist; in diesem Falle muss Luft vergeudet werden.

23. Versuche mit Sprudelrohr e (Oeffnungsfläche 113 mm ^{2}). Das grosse Sprudelgefäss wurde beseitigt und ein kleineres genommen, das ungefähr 0,4 l fasste. Gebraucht wurde bei jedem Einzelversuch 3,43 l Luft, die in etwa 5,5 ′ durchsprudelte. Das

Höchstmaß der Elektrisierung lag, mochte ich nun die Sprudelhöhe allmählich verringern oder vergrössern, deutlich bei 5 cm Wasserweg der Blasen. Bei diesen Versuchen hatte ich meine Anlage mit verschiedenen Verbesserungen versehen, um möglichst einwandfreie Ergebnisse zu bekommen. Ueber den Blechmantel wurde ein Drahtnetz (D) gespannt, durch dessen Maschen die Luft gut kreisen konnte. Die Maschenweite war 3,5 mm, die Drahtstärke 0,6 mm. Im Drahtnetz waren 2 Paraffinblöcke befestigt, einer (B_1) zum Durchlassen der Drahtleitung vom Sprudelgefäss zum Elektrometer, der Zweck des andern (B_2) wird später erörtert werden (24). Beide waren an der Unterseite, das Durchlassloch und einen schmalen Rand freilegend, mit zur Erde abgeleitetem Staniol beklebt. Der Paraffinblock (P), der in der Mitte des Sprudelrohrs sass und das Sprudelgefäss gegen das übrige Röhrenwerk isolierte, wurde mit einem Gehäuse von Metallpapier (G), umhüllt, ohne selbstverständlich den Block zu berühren. Das gleiche Gehäuse erhielt der Siegellackbolzen auf dem oberen Rande des Blechmantels, der die Leitung vom Sprudelgefäss zum Elektrometer vermittelte. Die Entladevorrichtung (E) des Elektrometers an der Innenwand des Blechmantels wurde gleichfalls mit Metallpapier umgeben.

24. **Wirkungen einer positiv oder negativ geladenen Platte seitlich über dem Sprudelgefäss.** Es wurde eine Akkumulatorenbatterie benutzt, welche eine blanke Eisenplatte auf 8 Volt lud, um zu erforschen, welchen Einfluss Potentialdifferenzen im Innern des Schutzmantels auf den Grad der Elektrisierung haben würden. Die 7,5 cm lange und 4,5 cm breite Platte war wagerecht an einer senkrecht durch den zweiten Paraffinblock im Drahnetz führenden Messingstange befestigt. Sie befand sich 4 cm über dem Sprudelgefäss, etwas seitlich, dass der äusserste Rand der Platte mit dem Borde des Sprudelgefässes abschloss, von oben betrachtet. Bei der ersten Versuchsreihe wurde die Platte mit dem + Pole der Batterie verbunden. Zeit: nachm. 5 Uhr, Wassertemperatur 13,5°; ein Auerglühlicht und eine gewöhnliche Gasflamme brannten, Zimmertemperatur 19°. Bei diesem Versuche und den vier folgenden ist dasselbe Wasser benutzt worden. Luftmasse 3,431.

25. Versuchsreihe A.

Sprudelhöhe in cm	2	3	4	5	6	7
Zeit	5'29"	5'36"	5'36"	5'42"	5'48"	5'49"
Elektris. in Skal.-teil.	9,7	10,8	13,4	14,8	10,8	9,3

Um selbst den Einfluss der Flammen auf die Ergebnisse zu beseitigen, sind die vier folgenden Versuchsreihen bei Tageslicht gewonnen und zwar die ersten drei am selben Tage, die vierte am folgenden. Das erste mal war die Platte + geladen, das zweite mal —, bei der dritten Reihe hatte sie Erdleitung.

26. Versuchsreihe I. Platte+. Wassertemperatur 12°, Zimmertemperatur 18°.

Sprudelhöhe in cm.	5	6	7	8	4	3	2
Zeit	5'40"	5'39"	5'38"	5'49"	5'39"	5'33"	5'32"
Elektris. in Skal.-teil.	15,5	13,1	11,7	6,4	9,8	6,4	4,2

Das Höchstmass liegt in Versuchsreihe A und I bei 5 cm. Vergleicht man die einzelnen Werte in A und I miteinander, so fällt besonders auf, dass in A die aufeinander folgenden Ausschläge bei 4 und 5 cm Sprudelhöhe viel näher beisammenliegen als in I, wo drei Einzelversuche dazwischen liegen. Im allgemeinen zeigen die Elektrizitätswerte nach dem Ende einer Versuchsreihe hin fallende Neigung, worüber im folgenden noch mehr zu sagen sein wird.

27. Versuchsreihe II. Wassertemperatur 13°. Platte —.

Sprudelhöhe in cm	2	3	4	5	6	7
Zeit	5'31"	5'34"	5'35"	5'38"	5'36"	5'39"
Elektris. in Skal.-teil.	1,8	1,8	1,9	4,0	2,9	2,3

Hier überraschte mich nach dem ersten Versuch der geringe Ausschlag dermassen, dass ich zur Vergewisserung eine Isolationsprüfung vornahm, welche jedoch keinen Mangel ergab. Diese Werte zeigen trotz ihrer Kleinheit das Höchstmass der Elektrisierung bei 5 cm. Auffallend ist hier der Sprung von 1,9 Skal.-teil. bei 4 cm. Sprudelhöhe auf 4,0 Skal.-teile bei 5 cm. Auf den Zweifel hin, ob die geringe Elektrisierung der anders

geladenen Platte oder dem länger gebrauchten Wasser zuzuschreiben sei, wurde Versuchsreihe III gemacht.

28. Versuchsreihe III. Platte mit Erde verbunden. Wassertemperatur 13,5°.

Sprudelhöhe in cm.	7	6	5	4	3	2
Zeit	5'44"	5'43"	5'41"	5'34"	5'31"	5'29"
Elektris. in Skal.-teil.	3,4	3,7	4,2	3,3	3,0	2,7

Das Höchstmass liegt bei 5 cm. Verwunderlich war auch hier der geringe Ausschlag, der aber höher war — trotz der weiteren Benutzung des Wassers — als bei Verwendung der —geladenen Platte und bedeutend tiefer als bei + Ladung derselben. Vermutend, dass die letzten kleinwertigen Ergebnisse einen besonderen Grund haben müssten, liess ich das Wasser über Nacht gut zugedeckt stehen und wiederholte am andern Morgen mit geerdeter Platte die letzte Versuchsreihe.

29. Versuchsreihe IV. Wassertemperatur 13°. Zimmertemperatur 16°. Platte geerdet.

Sprudelhöhe in cm.	5	6	7	4	3	2
Zeit	5'37"	5'38"	5'40"	5'35"	5,35"	5'33"
Elektris.in Skal.-teil.	12,4	10,4	7,8	8,7	5,6	3,3

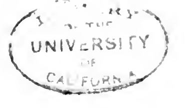
Die Ergebnisse von Versuchsreihe III mit denen von IV vergleichend, bemerkt man sofort, dass, unter denselben Bedingungen, längere Zeit untätig gewesenes Wasser höhere Elektrisierung erzeugt als lange gebrauchtes. Diese Besonderheit des Wassers ist vielleicht damit zu erklären, dass die positive Ladung des Wassers nach jedem Versuche zur Erde abgeleitet wird; sie wird um so deutlicher zu merken sein, je geringer die durchsprudelte Wassermasse im Vergleich zur Luftmasse ist. Diese Eigenschaft der Ermüdung kann man auch schon aus dem Vergleich der Werte in Versuchsreihe A und I ersehen. In A, wo Sprudelhöhe 4 und 5 cm aufeinander folgen, liegen die Werte nur 1,4 Sk—t. auseinander, während in I, wo zwischen Sprudelhöhe 5 und 4 cm drei Einzelversuche liegen, die entsprechenden Werte 5,7 Sk—t. entfernt sind. Man betrachte auch in A die hohen Anfangswerte und in I die niederen Schlusswerte bei den gleichen Sprudelhöhen.

30. Nun ist noch die andere Frage zu erledigen: Weshalb bekommt man mit positiver Ladung der Platte bedeutend stärkere Elektrisierung als mit negativer? Die Ermüdung des Wassers kann die Erscheinung nicht erklären, da die Werte mit geerdeter Platte wieder wachsen. Die Erklärung ist vielleicht folgendermassen zu fassen: Bei der Sprudelung von Luft durch destilliertes Wasser wird die über dem Sprudelgefäss befindliche Luft mit negativer Elektrizität angefüllt, die, falls sie von der Umgebung des positiv geladenen Wassers auf irgend eine Weise z. B. durch Lüftung entfernt wird, die Elektrisierung des Sprudelgefässes zur Geltung kommen lässt. Nun muss man annehmen, dass die positiv geladene Platte auf die negative Elektrizität eine Anziehung ausübt und sie hierdurch von der Oberfläche des Wassers beseitigt. Bei Anwendung der negativ geladenen Platte wird das Gegenteil eintreten. Ueber die Wirkung von Potentialdifferenzen innerhalb der Versuchsanlage bei Elektrisierung durch Wasserfall vergleiche Lenard, Wiedem. Ann. 46, S. 623.

31. Bei einem meiner Versuche, wo ich, ein Sprudelrohr von 3,14 mm ^{2} Oeffnungsfläche anwendend, die Sprudelhöhe finden wollte, bei der die stärkste Elektrisierung stattfand, stiess mir ein sonderbarer Fall auf. Den Wasserweg der Blasen allmählich kürzend, war ich bei 3 cm angekommen und hatte das Höchstmass bei 4 cm schon überschritten, als ich, einer kleinen Unregelmässigkeit wegen, den Versuch bei 3 cm wiederholte und ein vollständig anderes Ergebnis fand, das so klar von allen anderen abwich, dass ich eine wichtige Aenderung in den Versuchsbedingungen annehmen musste. Kurve c, zeigt den unerwarteten Sprung aufwärts von 45,6 Sk-t. bei 4 cm Sprudelhöhe nach 52,5 bei 3 cm. Ich machte letzteren Versuch noch einmal und der Sprung blieb, jetzt nach 51,6. Es war sicher, dass sich in allen Sprudelverhältnissen nichts geändert hatte, besonders nicht in der Stömungsschnelle der Luft, die noch am ehesten hätte infrage kommen können. Da entsann ich mich, dass während der abweichenden Versuche auf dem Zimmer ein Baumwollfaden durchgesengt worden war. In seiner Abhandlung über „Wasserfallelektrizität“ hatte Lenard bereits auf die bedeutende Rolle hingewiesen, die der Rauch[1]) bei der Elektrizitätsent-

[1]) Pogg. Ann. N. F. 46, S. 594.

. in Th.-teilen. Elektris. in Th.-teilen.



wicklung durch fallende Wassertropfen spielt, sodass auch mein Fall eine Erklärung hatte. Um die Wirkung des Rauches ziffernmässig verfolgen zu können, bereitete ich verschiedene Versuche vor, je einen ohne und einen mit Rauch; die Sprudelhöhe und Luftschnelle blieben gleich.

32. Versuchspaar a. Im ersten Fall bekam ich 16,0 Sk-t. in 3′16″, im anderen 53,0, bei welchem ich den Cigarrenrauch nach der ersten Hälfte des Versuchs mittels eines geknickten Glasrohres über den Mantelrand ins Innere geblasen hatte. Die erste Folge war ein heftiges Schwanken der Elektrometernadel, die sich allmählich beruhigte und am Sprudelschluss den ruhigen Stand von 36,0 Sk-t. aufwies, aber stetig aufrückte, bis sie nach 6 Min. den Höchststand von 53,0 Sk- t. einnahm. Hierauf wurde das Arbeitszimmer gründlich gelüftet und das Mantelinnere tüchtig ausgeblasen, trotzdem blieb im letzteren auch nach langer Zeit noch ein durchdringender Nicotingeruch.

33. Einzelversuch A. Der Rauch wurde am Schluss der Sprudelung eingeblasen mittels des geknickten Rohres, als das Elektrometer noch 3′15″ 22,7 Sk-t. wies. Es fiel nach dem Einblasen sofort auf 15,0 Sk-t., um erst nach 3′45″ nach Sprudelende allmählich den etwas höheren Stand von 23,5 Sk-t. zu erreichen.

34. Einzelversuch B. Der Rauch wurde vor dem Versuche eingeblasen. Das Elektrometer stieg schnell und stand am Ende der Sprudelung nach 3′16″ auf 77,5, um weiter zu steigen auf 85,0 nach weiteren 75″. In Kurve A und B ist der erste Fall von Versuchspaar a und Einzelversuch B veranschaulicht. Das über der Kurve stehende Kreuz bedeutet das Ende der Sprudelung. Mit Rauch ist also hier eine etwa 5 mal grössere Elektrizitätsentwicklung erzielt worden als ohne ihn. Der Abfall in Kurve A vom Kreuz nach rechts ist auf Elektrometerverlust zu setzen.

Die Hauptversuche (Kurven a—f). Um ein übersichtliches Bild zu bekommen, und um mehr Beiträge zur Beurteilung der Gründe zu haben, die für den Höchstwert bei einer bestimmten Sprudelhöhe sprechen, richtete ich mir fünf Sprudelrohre her mit den Oeffnungsflächen 0,21; 0,63; 1,05; 3,14; 113 mm². Die er-

sten vier waren doppelknieig gebogen, das fünfte hatte einen schwachen Knick. Das Sprudelwasser war während aller Versuche mit den angegebenen Rohren dasselbe, was ich nur durch Beobachtung peinlicher Vorsicht ohne Schädigung der Ergebnisse tun durfte. Die Temperatur des Sprudelwassers setzte ich allgemein auf 17° fest, die Zeit des Sprudelns auf etwa 3'20"; die durchsprudelnde Luftmasse betrug jedesmal 3,431, die durchsprudelte Wassermasse im Sprudelgefäss mass 0,41. Auch der allemal verzeichnete Umstand, ob mit oder ohne Flammenbeleuchtung gearbeitet wurde, ist nicht ausser Acht zu lassen. (Siehe die Kurven a—f).

35. Sprudelrohr a. Oeffnungsfläche 0,21 mm^2. Versuchszeit 5 Uhr nachmittags. Eine Gasflamme brennt.

Sprudelhöhe in cm	3,0	2,0	1,0	0,5	0,3	0,25	3,0	dicht unter Oberfl.
Elektris. in Skal.-teil.	28,9	31,1	34,2	33,7	42,0	48,5	29,6	74,8

Die Geschwindigkeit, mit der die Luft aus der Oeffnung ausgestossen wurde, war im Mittel 80 m/sec. Sofort nach dem Entstehen wirbeln die Blasen auseinander, sodass ein Büschelkegel von ziemlicher Grundfläche entsteht. Es ist leicht einzusehen, dass die Wallung der Oberfläche demgemäss mit grösserer Sprudelhöhe zunehmen muss, die Wallung begünstigt wiederum das Platzen der Luftblasen. Je geringer die Sprudelhöhe wird, um so mehr schrumpft die Grundfläche des Büschelkegels, die in die Wasseroberfläche zu verlegen ist, zusammen: Die Wallung nimmt ab, bis die anziehenden Kräfte zwischen den Blasen überwiegen: Die Ballungen beginnen an der Wasseroberfläche. Mit dem Verringern der Sprudelhöhe wechselt auch eine andere Erscheinung: Das Geräusch, das das Platzen der Blasen begleitet, geht über vom dumpfen bei grösserem Wasserweg in ein immer heller klingendes, wenn man das Sprudelrohr hochzieht. Bei 1,0 cm Sprudelhöhe ist der Laut infolge des Zerschmetterns der Wasseroberfläche kreischend geworden, was sich, höher gehend immer mehr verschärft, bis der Luftstrom, das Sprudelrohr dicht unter die Oberfläche gebracht, ein Geräusch wie von zerreissender Leinwand hervorbringt. Bei 0,5 cm befindet sich auf der Oberfläche eine Menge Blasen, die zum Rande strömen; bei 0,3 cm ist die

Blasenbildung statt, die Wasserfläche wird nur zersprengt; zuweilen bilden sich kleine Kügelchen, die äusserst behende auf der verhältnismässig ruhigen Oberfläche dahinschiessen, ja vom Rande oft wie Billardkugeln von der Bande abprallen und später zerspringen. Das Sprudelrohr war so dicht unter die Oberfläche geschoben, dass ich infolge Wasserverlustes durch Spritzer das Sprudelrohr nachstellen musste, da die Oeffnung allmählich die freie Luft gewann. Doch hatte das Bewegen am Sprudelrohr über dem Blechmantel keine wahrnehmbare Wirkung aufs Elektrometer wie ich mich bei einem zweiten Versuche überzeugte. Das Elektrometer hatte schon 30 Sk.-t. gewiesen, als das Nachstellen notwendig wurde; bei sofort folgendem Ablesen zeigte das Elektrometer weder eine Schwankung noch eine sonstige Unregelmässigkeit. Trotz grossen Spritzverlustes hatte es einen ausgezeichnet ruhigen Gang.

36. Sprudelrohr b. Oeffnungsfläche 0,63 mm². Versuchszeit: 5 Uhr nachm. Eine Gasflamme brennt.

Sprudelhöhe in cm.	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	0,25
Elektris. in Sk-·t.	20,5	23,7	23,5	18,4	17,4	16,9

Die Luftschnelle beim Verlassen des Sprudelrohres ist etwa 27 m/sec; demgemäss ist die Büschelung der Blasen im Wasser nicht mehr so stark. Die Erscheinungen an der Wasserfläche sind bei den einzelnen Sprudelhöhen nur wenig von einander verschieden. Bei 1,0 cm verringert sich allmählich die Blasenzahl. Bei 0,5 cm: noch weniger Blasen. 0,25 cm: Blasen wie vorher entstehen überhaupt nicht, nur zuweilen ganz kleine Kügelchen, die mit auffallender Schnelle über die Oberfäche hineilen. Das Geräusch des Zerreissens der Oberfläche ist lange nicht so grell als bei Sprudelrohr a.

37. Sprudelrohr e. Oeffnungsfläche 1,05 mm². Versuchszeit: 5 Uhr nachmittags. Eine Gasflamme brennt.

Zu 5:

Sprudelhöhe in cm.	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	0,25	1,0
Elektris. in Sk.-t.	24,1	26,9	29,5	27,3	17,9	23,5	22,1	18,1

Zu 5,0: Schwach wallende Oberfläche, kein langes Verweilen

der Blasen. Zu 4,0 und 3,0: die Erscheinung hat sich nicht merklich geändert. Zu 2,0: Das das Platzen der Blasen begleitende Geräusch wird höher und schärfer; aber hier tritt auch die Blasenballung ein. Zu 1,0: Wohl ebensoviel Blasen; aber die Oberfläche wird nicht mehr so stark erschüttert. Zu 0,5: Fast keine Blasenentstehung, über der Sprudelöffnung eine kleine gewölbte Kuppe: Ort der entstehenden Blase; von hier trennen sich zuweilen wenige ab, die langsam platzen. Zu 0,25: Keine Blasenbildung, die Wasserfläche wird nur zersprengt, sie schwingt in konzentrischen Wellen.

38. Sprudelrohr d. Oeffnungsfläche 3,14 mm². Versuchszeit: morgens 11 Uhr.

Sprudelhöhe in cm.	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	0,25
Elektris. in Sk.-t.	21,8	27,4	34,1	33,0	29,2	16,9	14,7	3,3

Zu 6,0: In der Mitte eine hohe Wasserkuppe, tüchtiges Wallen der Oberfäche, wenig Blasen. Zu 5,0: Die Erscheinung hat sich nicht sichtlich verändert. Zu 4,0: Das bubbelnde Geräusch wird heller, gründliches Wallen, die Blasen platzen ohne Ballung. Zu 3,0: In geringem Masse beginnen die Ballungen, aber ohne längere Zeit zu verweilen. Zu 2,0: Die Ballungen sind verstärkt, sie bestehen einige Zeit, im Zuge zum Rande strömend. Zu 0,5: Blasenballung von wenigen Blasen, oft Aussetzen derselben, ein Zeichen, dass Luft vergeudet wird. Zu 0,25: Keine Blasenbildung, die Oberfläche schwingt in konzentrischen Wellen

39. Sprudelrohr e. Oeffnungsfläche 113 mm². Versuchszeit: 5 Uhr nachmittags. Eine Gasflamme brennt.

Sprudelhöhe in cm.	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	0,5
Elektris. in Skal.-teil.	16,9	22,6	22,5	24,5	25,5	19,7	7,8	6,7

Die Luftschnelle an der Oeffnung war etwa 15 cm/sec. Zu 6,0 und 5,0: Wenig Blasen, keine Ballung. Zu 4,0: Am Wasserrand einzelne Blasen. Zu 3,0: Kleine, schnell verschwindende Ballungen. Zu 2,0: Etwa wie bei 3,0. Das Plätschergeräusch wird heller. Zu 1,5: Ballungen noch gering, etwas stärker als vorhin. Zu 1,0: Zum Rande abströmende Ballungen; hier tritt Luftver-

geudung ein, da der Wasserweg der Blase kleiner als sie selbst ist. Zu 0,5: Ballung weniger Blasen, verstärkte Luftvergeudung; schwaches plätscherndes Geräusch.

40. Sprudelrohr e. Kurve f. Versuchszeit: 10 Uhr morgens.

Sprudelhöhe in cm.	5	6	7	4	3	2
Elektris. in Sk-t.	12,4	10,4	7,8	8,7	5,6	3,3

Luftschnelle an der Rohröffnung etwa 9 cm/sec. Die Blasenballungen treten, wie schon aus (17,22) herauszufinden ist, bei etwa 5 cm Sprudelhöhe ein, um sich bei verringertem Wasserweg immermehr auszubilden.

41. Gestalt der Luftblasen an der Wasseroberfäche. Eine ganz bestimmte Form erlangen die Luftblasen erst an der Oberfläche, wo sie, bei ruhender Sprudlung, in den Gleichgewichtszustand übergehen, bis sie ihn verlieren, indem die Wasserwandung abläuft; hierdurch überwindet die eingesperrte Luft das Hinderniss: Die Blase platzt. Dies Platzen wird um so schneller erfolgen, je schneller das Wasserhäutchen dünner wird, je steiler im allgemeinen die Blasenwand ist. Nun hängt die Gestalt der Blase und ihr Ragen über die Wasseroberfläche allein von ihrer Grösse ab. Im Anhang stehende Blasenbilder (Luft und destilliertes Wasser angenommen) zeigen, dass Blasen von wenig Luftinhalt fast ganz unter der Oberfläche liegen und sich um so mehr herausdrängen, je luftreicher sie werden, bis sie bei ungefähr 1 cm wagerechtem Durchmesser gleichweit über und unter Wasser sich befinden. Je mehr die Blase wächst, desto mehr strebt sie aus dem Wasser heraus; der Boden flacht ab, die Kuppe nähert sich, Inhaltsform betrachtet, der Halbkugel.

Luftblase	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Kuppenhöhe in cm.			0,25	0,3	0,6	0,95	1,5
Muldenhöhe in cm.			0,25	0,25	0,3	0,35	0,4
Wagerecht. Halbmesser d. Blase in cm.	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
Wager. Halbmess. d. Wasserhaut i. cm.	0,2	0,35	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
Höhe d. ganzen Blase i. cm.	0,3	0,35	0,5	0,55	0,9	1,3	1,9
Luftinhalt in cm^3.	0,023	0,085	0,21	0,44	1,54	4,07	12,7
Freie Oberfläche in cm^2.	0,13	0,46	0,98	1,82	4,3	9,9	19,6
Bei gleich. Luftmasse Verhltn. d. freien Oberflächen bezogen auf Blase IX.	3,7	3,5	3,0	1,8	1,8	1,6	1,0

konnten. Dieselbe Ueberlegung kann man auch ausdehnen auf die Elektrizität, die an der Wasseroberfläche frei wird. Es war ziemlich gleichgültig, mit welchem Staub er sein Sprudelgas durchsetzte, und, was bedeutsam ist, er bekam stets erhöhte, nie verringerte Wirkungen. Vorstehende Erklärung verträgt sich auch sehr gut mit den Ergebnissen von *Elster* und *Geitel*, die die Elektrizitätszerstreuung in der Luft unter verschiedenen Umständen beobachteten. Sie fanden, dass sie am grössten war bei klarem Wetter, als die Luft grosse Reinheit zeigte; dass sie aber bedeutend abnahm, sobald Nebel sie erfüllte, desgleichen in der Nähe grosser Städte und staubiger Landstrassen, wo die Luft feine Rauch- oder Mineralteilchen barg. Sie vermuteten schon, dass die Beweglichkeit der Elektrizitätsteilchen, von der die Elektrizitätszerstreuung abhängt, durch die Haftung an feine Staubteilchen gehemmt würde.

44. Erörterung der Kurven a bis f. Die reinste Erscheinung über den Ursprung der Elektrizität bietet Kurve f, da sie die Elektrizitätsentwicklung durch einzelne Blasen darstellt. Die Sprudelhöhe verringernd, nimmt die Elektrisierung zu, bis sie einen Wendepunkt erreicht und fällt. Die Frage drängt sich auf: Weshalb steigt sie nicht weiter, da sich doch bis 2 cm Sprudelhöhe die Luftblase voll ausbilden kann? Platzte sie unter diesen Umständen sofort, so wird hier der elektrische Höchstwert erfolgen. Das tut sie aber nicht, wie schon ein einfacher Blick auf Zeichnung (17,22) lehrt. Die ersten 5 cm der Wasserwanderung legen die Luftblasen fast senkrecht zurück, und man ersieht leicht, dass bei Verringerung der Sprudelhöhe unter 5 cm stets die folgende Blase auf den Weg der vorhergehenden geschickt wird, sodass sie sich an der Wasserfläche treffen und, da das Wasser dementsprechend weniger wallt, Ballungen veranlassen; d. h. die Blasen bleiben längere Zeit mit dem Wasser in Berührung und müssen von der in sich bergenden Elektrizität ans Wasser zurückgeben. Das wird um so deutlicher ausgeprägt sein, je geringer ihr Wasserweg wird. Kurve e, mittels desselben Rohres erlangt, zeigt einen abweichenden Zug. Hier sind jedoch die Bedingungen andere. Die Sprudelheftigkeit ist bedeutend vermehrt, der Blasenweg hat nicht die ständig gleiche Richtung und, was wich-

tig ist, durch das stärkere Sprudeln wird das Wallen der Wasserfläche begünstigt und mithin das Platzen der Blasen beschleunigt. Werden die übrigen Kurven betrachtet, so zeigt sich eine bestimmte Eigenschaft der Rohröffnung ausgesprochen. Je enger sie wird um so mehr verschiebt sich der elektrische Höchstwert nach links. Wie Funkenbeobachtung ergiebt und wie auch schon das blosse Auge erkennen kann, nimmt der Büschelkegel, den die das Wasser durchströmenden Blasen bilden, mit kleinerer Oeffnungsfläche an Ausdehnung der Grundfläche zu, sodass bei derselben Sprudelhöhe die mittels verschiedener Rohre erzeugten Luftblasen die Wasseroberfläche in verschieden grossem Umkreise erreichen. Je grösser dieser Kreis, die Grundfläche des Büschelkegels, ist, um so stärker wallt die Oberfläche, um so schneller platzen die Blasen. Nun hängt aber die Elektrisierung, die eine zerplatzende Luftblase liefert, davon ab, wie lange sie mit dem Wasser in Verbindung bleibt, sei es in oder auf dem Wasser. Dass sie ihre Elektrizität sehr schnell abgiebt, geht schon daraus hervor, dass ein um 1 cm längerer Wasserweg viel Verlust für die Elektrizitätserzeugung bewirkt. Nehme ich an (Kurve f), dass die einzeln ausgestossenen Blasen in 1 cm Abstand auf einander folgen, so dass bei einer um 1 cm vergrösserten Sprudelhöhe eine Luftblase mehr im Wasser vorhanden ist, so braucht sie, da jede sec. sechs ausgestossen werden, bei geringerer Sprudelhöhe auch $^1/_6$ sec. nur länger an der Oberfläche zu weilen, um die Elektrisierung in derselben Stärke zu drücken; mithin müssen die Ballungen, auch wenn sie eine kaum wahrnehmbare Zeit länger als im Fall vorher bestehen, Abfall der Elektrizitätsentwicklung bringen. Kurve a erfordert wegen ihres auffallenden Verlaufs eine besondere Besprechung. Das erste Höchstmass liegt bei 1 cm, die Kurve fällt nach links, um dann unvermittelt zu steigen. Zur Erklärung haben wir drei Erscheinungen zu beachten. Erstens werden die Blasen offenbar so spitz als möglich wegen des geringen Wasserdrucks, die verschwindende Oberfläche ist sehr gross. (Vergl. Bild 12—16). Zweitens schleudert der scharfe Luftstrahl die negative Elektrizität heftig fort, lüftet also das Gefäss auf diese Weise (6). Drittens — und hier haben wir eine Aehnlichkeit mit der Wirkung des schräg auf die Wasserfläche

gerichteten Rohres (20) — reisst der Luftstrahl mit grosser Heftigkeit von der Flüssigkeitsdecke langgezogene Fetzen ab, die sich zu Kugeln umbilden und Oberfläche freigeben. Bei Kurve c finden wir diese Wirkungen wieder, aber alle in geschwächtem Maße.

45. Gehe ich mit dem Sprudelrohr a bis dicht unter die Oberfläche, so habe ich hier den höchsten Wert der Elektrisierung: 74,8 Sk-t. Man könnte die Höhe des Wertes den Spritzern zurechnen, die reichlich emporgeworfen werden und im Fall auf die Wasserfläche Wasserfallelektrizität abgeben. Doch halte ich den Betrag für so gering, dass er dem Versuch seine Gültigkeit nicht nimmt. Um zerschmettert zu werden, sind die Tröpfchen zu klein und ihre Fallhöhen zu gering. Vergleiche ich nun aber zwei Sprudelrohre, in verschiedenen Sprudelhöhen etwa gleiche Spritzermasse bewirkend, inbezug auf die erlangte Elektrisierung miteinander, so erscheint ein anregendes Ergebnis. Sprudelrohr a wirft bei 0,3 cm Sprudelhöhe etwa soviel Spritzer in die Höhe wie Sprudelrohr d, dicht unter die Oberfläche gestellt. Doch bringt das erstere 40—50, das andere nur 3,3 Sk-t. hervor. Wenn die rückfallenden Spritzer wirklich grosse Bedeutung hätten, dann sähe man garnicht ein, weshalb sie im einen Falle so beträchtlich den Erfolg steigern, im andern aber mindern sollten. Durch die Ueberlegung im vorigen Abschnitt sind die abweichenden Werte erklärt worden.

46. In den Uebersichten a und c (35,37) wird aufgefallen sein, dass, die Regel verlassend, eine bestimmte Sprudelhöhe nachgeprüft wurde. Entgegen der früheren Behauptung (29), dass die Werte mit der Dauer der Versuche infolge Wasserermüdung abnehmen, findet man hier wachsende Werte, und zwar nimmt die Steigerung mit der Länge der dazwischen liegenden Zeit zu. Es besteht aber ein wichtiger Unterschied in den Bedingungen, unter denen die infrage kommenden Versuche angestellt wurden. Die damaligen Versuche wurden bei Tageslicht, die in Uebersicht a und c bei Gaslicht unternommen. Schon früher bei meinen Arbeiten mit Gasbeleuchtung war es mir auffallend erschienen, dass die Werte nachfolgender Versuche wachsende Neigung zeigten; hier bei den angegebenen Zahlen ist sie deutlich dargetan.

Man muss für die höheren Werte, wie damals den Cigarrenrauch, jetzt die Flammengase verantwortlich machen. *Lenard*[1]) hatte die Beobachtung ihrer Wirkung schon früher gemacht. Er spricht sich folgendermassen darüber aus: „Es ist indessen keine notwendige Annahme, dass Rauch oder Flammengase die Erregung der Elektrizität begünstigen; sondern es genügt zur Erklärung des höheren Ansteigens der Luftpotentiale die sehr auffallende Wirkung der Verunreinigungen, die Elektrizität in der Luft zu conservieren."

47. Was spricht dafür, dass die Ursache der Elektrisierung in der Bildung einer elektrischen Doppelschicht zu suchen ist?

1) Ausweiten der Flüssigkeit giebt keine Elektrisierung (19,20), Blasensplitterung hemmt sie (22).

2) Reibung zwischen Luft und Flüssigkeit ist ohne Einfluss; denn die Elektrizitätsentwickelung müsste, das Gegenteil angenommen, mit wachsender Sprudelhöhe zunehmen, ebenso ist Hinblasen eines Luftstromes über die Wasserfläche wirkungslos (20, 25—29, 35—40).

3) Längerer Aufenthalt in oder auf dem Wasser schwächt die elektrische Wirkung; das ist nur zu erklären durch die Annahme einer elektrischen Doppelschicht, die sich durch Verschwinden von Oberfläche am Sprudelrohr zumteil ins Blaseninnere entlädt; aufsteigend, giebt die Luftblase ihre freie Elektrizität allmählich ans Wasser zurück. Dieser Ausgleich ist um so gründlicher, je kleiner die Blase wird (22).

4) Mit der Sprudelheftigkeit wächst die Elektrisierung, d. h. also in dem Maße, wie Oberfläche verschwindet (22).

48. Versuche mit Kochsalzlösung. Bei einem meiner früheren Versuche mit dest. Wasser hatte ich beim Hineinblasen von Cigarrenrauch ins Innere des Blechmantels eine fast 5 mal stärkere Elektrisierung bekommen als ohne ihn (34). Mir ging es darum, der Rolle des Rauchs nachzuspüren. Zu diesem Zwecke nahm ich eine 5%ige Na Cl-lösung, bei deren Durchsprudelung mit Luft letztere positiv elektrisch wird, und zwar ist bei den Versuchen von *Lenard*[2]) die negative Elektrisierung der Na Cl-lösung

[1]) Pogg. Ann. N. F. 46, S. 594.

[2]) l. c. S. 628.

der positiven des dest. Wassers etwa gleich. Die Sprudelhöhe war 5 cm, die Wassertemperatur 18°, die Oeffnungsfläche des Rohres 113 mm². Nach einer Sprudeldauer von 5′ 32″ und bei einer Luftmasse von 3,43 l zeigte das Elektrometer auch nicht den geringsten Ausschlag. Darauf wiederholte ich den Versuch, nachdem Cigarrenrauch ins Mantelinnere geblasen worden war. Da bekam ich den völlig unerwarteten Ausschlag von +17,5 Sk-t. Ich fächelte den Rauch aus dem Innern heraus und blies frischen Rauch hinein, ohne sprudeln zu lassen; jetzt zeigte das Elektrometer — 3,6 Sk-t., also den entgegengesetzten Wert als mit Sprudelung. Um aber der erlangten Ergebnisse sicher zu sein, wiederholte ich sie am folgenden Tage. Wassertemperatur 15°; Sprudelung ohne Rauch: kein Ergebnis. Mit Rauch ohne Sprudelung: — 21,0 Sk-t. nach 3 Min., um allmählich zu fallen (die Isolation war fehlerfrei); nach 5′30″ 15 Sk-t. Mit Sprudelung und Rauch in 5′33″ + 5,3 Sk-t.

	Sprudelg. o. Rauch.	Sprudelg. m. Rauch	Rauch o. Sprudelg.	Entl.Gefäss m. Rauch.
1. Tag	—	+ 17,5	— 3,6	
2. Tag	—	+ 5,3	— 21,0	+ 9,9 (15)

49. An die Grösse der Zahlen braucht man keine Folgerungen zu knüpfen, da sie gewiss nur durch die Dichte des Rauchs bestimmt werden, die man nicht abmessen konnte; aber die Vorzeichenänderung giebt viel zu denken. Das Hauptergebnis ist, dass bei Sprudelung allein keine Wirkung unter den angewendeten Bedingungen eintritt. Man muss sich jedoch vorhalten, dass, inbezug auf Lenard's Versuche und die hier angeführten, den abweichenden Ergebnissen verschiedene Erscheinungen zugrunde liegen, die man nicht ohne weiteres gleichstellen kann; zumal ergaben auch Lenard's Versuche [1]) mit Na Cl-lösung schwankende Werte. Welches Geschäft der Cigarrenrauch bei Anwendung von Na Cl-lösung übernimmt mit und ohne Sprudelung, gefolgt von den verwirrenden Ergebnissen, ist schwer zu sagen. Er hat z. B. ohne Sprudelung auf Sprudelgefäss und Lösung negative, auf das entleerte positive Wirkung. Es scheint fast,

[1]) Pogg. Ann. N. F. 46, S. 597.

als wenn bei der angewendeten Sprudelstärke beide Elektrizitäten in gleichem Masse frei würden, und dass nur deshalb der Erfolg ausbleibt, weil sie sich in der Luft wieder verbinden, was mit Rauch in der Nähe vielleicht nicht geschieht. Dies deutet wohl der Umstand an, dass der Ausschlag bei Sprudelung und Rauch positiv, bei Rauch ohne Sprudelung negativ ausfällt. Bei entleertem Gefäss und Rauch bekam ich in 5′30″ + 9,9 Sk-t. und, nachdem ich tüchtig ins Mantelinnere hineingeblasen hatte, in 7′30″ 15,0 Sk-t.

50. Um deutlichere Ergebnisse mit Na Cl-lösung allein zu bekommen, wollte ich den Betrag der verschwindenden Oberfläche vermehren. Ich nahm Sprudelrohr b und liess stärker sprudeln. Die Luft wurde durch eine 6,5 %ige Na Cl-lösung getrieben, bei welchem %—gehalt Lenard den Höchstwert der Elektrizitätsentwicklung gefunden hatte. Die Temperatur der Lösung erhöhte ich auf 20°, um bestimmtere Ergebnisse zu bewirken. Die Luftmasse betrug 20 l, etwa 6 mal soviel als bei den Hauptversuchen. Bei Sprudelhöhe 4 cm bekam ich in 11′45″ — 12,1 Sk-t., bei 0,5 cm aber + 37,1 Sk-t. in 11′30″. Abgesehen von der Kleinheit der Ausschläge, musste der Wechsel von + in — bei verringerter Sprudelhöhe überraschen. Um den Umkehrpunkt zu finden, machte ich den Blasenweg der Blasen allmählich kürzer und bekam folgende Uebersicht. Luftmasse 12 l.

Sprudelhöhe in cm.	5,0	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	0,3
Elektris. in Sk.-t.	—1,6	—1,9	—3,3	+0,8	+1,1	+3,2	+40,9

Bemerkenswert bei dieser Versuchsreihe sind zunächst die bedeutend stärkeren Ballungen der Blasen, die oft über die Hälfte der Oberfläche bedecken und dann das längere Standhalten bei den stärkeren Wallungen in grösserer Sprudelhöhe. Höchst wahrscheinlich sind auch hier bei der Na Cl-lösung die stärkeren Ballungen die Ursache der auffallend geringen Elektrizitätsentwicklung, und damit wäre auch zumteil das Abweichen von den Lenard'schen Ergebnissen erklärt. Nehme ich bei dieser Lösung z. B. nur 12 Blasen im Durchschnitt auf der Oberfläche an, so bedeutet das, roh geschätzt, eine um 2 sec längere Verbindung mit der Flüssigkeit als bei dest. Wasser, oder, augenblickliches Platzen an der Wasserfläche angenommen, eine so beträchtliche Sprudel-

höhe, wie ich sie bei keinem meiner Versuche angewendet habe. Die Umkehr des Vorzeichens erfolgt zwischen 2,0 und 3,0 cm Sprudelhöhe, offenbar näher bei 2,0 liegend; also muss hier ein Punkt liegen, wo keine Elektrisierung stattfindet, wo sich zwei entgegengesetzt wirkende Vorgänge das Gleichgewicht halten.

51. Um aber noch klarer über das Ergebnis zu werden, machte ich eine weitere Versuchsreihe mit Sprudelrohr d, Oeffnungsfläche 3, 14 mm². Luftmasse 8 l.

Sprudelhöhe in cm.	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	0,3
Elektris. in Skal.-teil.	—2,4	—5,6	—8,0	—3,1	—1,7	—0,9	+ 2,2	+4,9

Inbezug auf das Höchstmass der Elektrisierung kann diese Reihe mit den Werten der Kurve d verglichen werden, da ihre Sprudelstärken nur wenig abweichen; auch hier liegt wie dort der Höchstwert bei 4,0 cm. Das Auffallendste aber ist, dass bei dieser weiteren Sprudelöffnung, wo die Spritzer erst in geringerer Sprudelhöhe erscheinen, auch die Umkehr des Vorzeichens später beginnt; jedoch wird in dieser Reihe der frühere Wert von 40,9 — der geringeren Luftmasse entsprechend gekürzt — auch nicht annähernd erreicht.

52. Wie wäre die Wirkung der Spritzer zu denken? Die Entführung negativer Elektrizität durch den Spritzverlust ist wohl ausgeschlossen, da dann die Elektrisierung des Sprudelgefässes sich wohl dem Null-werte nähern, aber niemals in + Werte umschlagen könnte. Ist aber die Luft positiv elektrisch geworden, so würden die Spritzer die Luft zumteil entelektrisieren, und eine Verstärkung der negativen Elektrizität der Lösung müsste erfolgen, was auch nicht stattfindet. Ein Ausweg bleibt: die Annahme dass die Luft nach dem Sprudeln beide Elektrizitäten fast in gleichem Masse enthält, dass die Spritzer beim Durchfahren der Luft die negative Elektrizität an sich reissen, die dann ihrer schwächenden Wirkung aufs Wasser beraubt ist, wodurch die positive des Wassers steigt.

Ergebnisse der Arbeit.

1. Luftblasen, in dest. Wasser entstehend, umkleiden sich mit einer elektrischen Doppelschicht, die, wie bei Wassertropfen

nach Lenard's [1]) Erklärung, entsprechenderweise innen negative, aussen positive Elektrizität besitzt. Das Moment der Doppelschicht braucht ungeheuer kurze Zeit zur vollen Ausbildung. (Unter diesem versteht man nach *Helmholtz* [2]) Elektrizitätsmenge der Flächeneinheit mal dem Abstand der beiden Belage). Die Elektrizität wird frei teils im Abtrennen der Blase am Rohr, teils beim Platzen an der Wasseroberfläche (22,4a, 4b).

2. Ausweiten der Oberfläche und Hinblasen eines Luftstromes über die Wasserfläche giebt keine messbare Elektrisierung (19,20).

3. Die Elektrizitätslieferung hängt ab:

a) von der Heftigkeit der Sprudelung (denn nach ihr richtet sich das Mass der verschwindenden Oberfläche [12,22]);

b) vom mehr oder minder schnellen Platzen der Blasen (längerer Aufenthalt in oder auf dem Wasser hemmt die elektrische Wirkung [35—40, 47[3], 50]);

c) von der Temperatur der Flüssigkeit (10);

d) vom Grad der Lüftung (6,44);

e) von der Sprudelhöhe. Verschiedene Rohrweiten haben den Höchstwert der Elektrisierung in verschiedenen Sprudelhöhen (35—40).

4. Von der Temperatur der Flüssigkeit scheint die Sprudelhöhe, bei der das elektrische Höchstmass erlangt wird, nicht beeinflusst zu werden (10).

5. Zersplittern der Blase in der Flüssigkeit mindert die Elektrisierung (22).

6. Nach anhaltendem Gebrauch ermüdet das Wasser und erholt sich nach längerer Untätigkeit wieder (29).

7. Potentialdifferenzen in der Nähe der durchsprudelten Flüssigkeit haben fördernden oder hindernden Einfluss, je nach dem Vorzeichen inbezug auf die in der Luft enthaltene Elektrizität (24—30).

8. Flammengase und Rauch haben insofern fördernde Wirkung, als sie die Elektrizität conservieren (31—34, 46).

---

1) Pogg. Ann. N. F. 46, S. 631.

2) Pogg. Ann. 89, S. 228 u. N. F. VII, S. 338.

9. Kochsalzlösungen geben schwankende Ergebnisse; bei ihnen schlägt in einer gewissen Sprudelhöhe, die von Sprudelöffnung und -heftigkeit abhängt, die elektrische Wirkung um (48-52).

* *
*

Vorliegende Arbeit ist im Physikalischen Institut der Universität Kiel durchgeführt worden. Es ist mir Bedürfnis, dem Leiter desselben, Herrn Professor *Lenard* für die freundlichen Ratschläge bei Ausführung der Versuche herzlich zu danken.

Thesen.

Es ist anzunehmen, dass die Energie der ultravioletten Strahlen der Sonne verwendet wird, um die Elektrizitäten in dem oberen Teile der Erdatmosphäre zu trennen.

Der grössere Zerstreuungskoëffizient für negative Elektrizität in der Nähe der Meere ist durch Lenard'sche „Wasserfallelektrizität“ zu erklären.

Die grossen Regentropfen vor oder bei einem Gewitter finden ihre Erklärung durch elektrostatische Anziehung von Gewitterwolken auf die fallenden Regenmassen.

Lebensgang.

Der Verfasser, *Karl Wolf,* ev. Konfession, von Staatsangehörigkeit Preusse, wurde am 1. Mai 1873 als Sohn des Kaufmanns Frz. Th. Wolf und seiner Ehefrau Friederike, geb. Kremer, zu Gelsenkirchen in Westfalen geboren. Er besuchte bis zum 14. Jahre die Elementarschule daselbst und trat darauf in das Geschäft seines Vaters, um Kaufmann zu werden. Im Jahre 1889 bezog er jedoch die Präparanden-Anstalt zu Holzwickede, um sich dem Lehrerberufe zu widmen. Nach $^{5}/_{4}$ jährigem Besuche machte ein schwerer Krankheitsfall diesem Aufenthalt ein Ende. Der Verfasser bereitete sich zuhause selbständig weiter vor und bestand im Dezember 1890 in Gütersloh das Aufnahmeexamen für das Lehrerseminar, das er im September 1893 als Volkschullehrer verliess. Im Oktober trat er die ihm zugewiesene Amtsstelle in Querenburg bei Bochum an, die er nach $2^{1}/_{2}$ jähriger Amtszeit aufgab, um das Abiturium nachträglich zu machen. Ostern 1898 wurde er auf die Oberprima des Realgymnasiums zu Dortmund aufgenommen, das er im Herbst desselben Jahres mit dem Zeugnis der Reife verliess. Er hat folgende Universitäten besucht und folgende Lehrer gehört: Greifswald (von Herbst 1898 bis Herbst 1899): *Limprickt, Richarz, Schreber, Thomé;* München von Herbst 1899 bis Herbst 1900): *Graetz, Lindemann, Röntgen;* Kiel (von Herbst 1900 bis Herbst 03): *Biltz, Claisen, Deussen, Lenard, Pochhammer, Stäckel, Weber.*

Verfasser fühlt sich gedrungen, auch an dieser Stelle allen Lehrern zu danken.